



«Материаловедение и обработка материалов»

Лабораторная работа №6

2016

Лабораторная работа №6

ДИАГРАММА ЖЕЛЕЗО-ЦЕМЕНТИТ. ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫЕ СПЛАВЫ: СТАЛИ И ЧУГУНЫ

Цель работы – изучить структурный и фазовый состав железоуглеродистых сплавов, микроструктуру сталей и чугунов в равновесном состоянии, их классификацию по содержанию углерода. Оценить влияние углерода на свойства и усвоить маркировку сталей и чугунов различных видов.

Приборы и материалы:

1. Металлографический микроскоп.
2. Образцы сталей с различным содержанием углерода.
3. Образцы белого доэвтектического, эвтектического и заэвтектического чугунов.
4. Образцы серого, высокопрочного и ковкого чугунов с различной структурой металлической матрицы.
5. Диаграмма состояния Fe-Fe₃C.



ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Железоуглеродистые сплавы стали и чугуны - самые распространенные в современной технике. Структура и фазовый состав этих сплавов в равновесном состоянии описываются диаграммой фазового равновесия для условий очень медленного нагрева и охлаждения (**диаграммой состояния**).

$t, ^\circ\text{C}$

1539

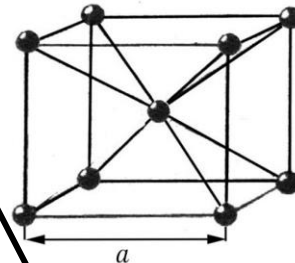
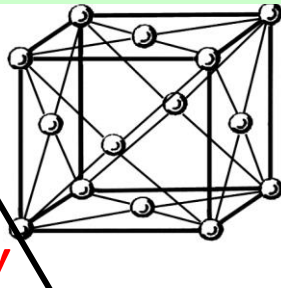
911

Fe_γ

ГЦК

Fe_α

ОЦК



Железо — это металл, в котором происходят полиморфные превращения, то есть при определённой температуре изменяется кристаллическая решётка.

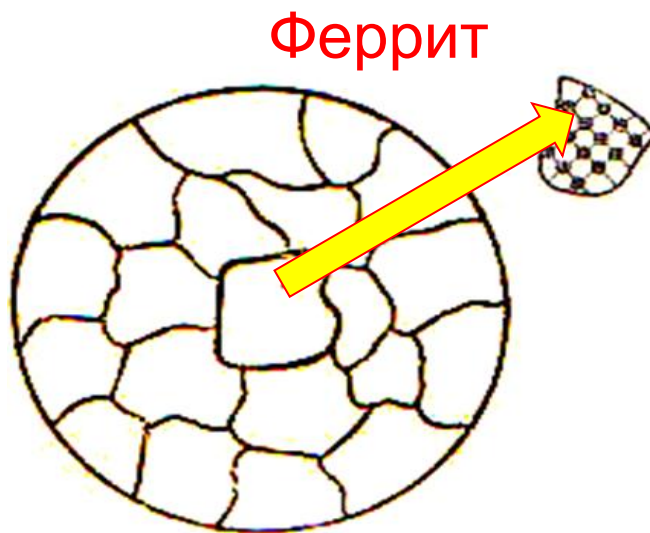
Ниже 911°C железо имеет объёмноцентрированную кубическую решётку (**ОЦК**) и обозначается Fe_α или $\alpha\text{-Fe}$. Выше 911°C железо имеет гранецентрированную кубическую решётку (**ГЦК**) и обозначается Fe_γ или $\gamma\text{-Fe}$.

τ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Железо с углеродом могут образовывать два твёрдых раствора (феррит и аустенит) и химическое соединение - цементит. **Феррит** - это твердый раствор углерода в Fe_α , он обозначается $Fe_\alpha (C)$. **Аустенит** – это высокотемпературный твердый раствор углерода в Fe_γ , его обозначают $Fe_\gamma (C)$.

Оба твёрдых раствора внедрения ограниченной растворимости.



Растворимость углерода в ОЦК решётке небольшая и даже при высоких температурах ($727^\circ C$) не превышает **0,03 %**.

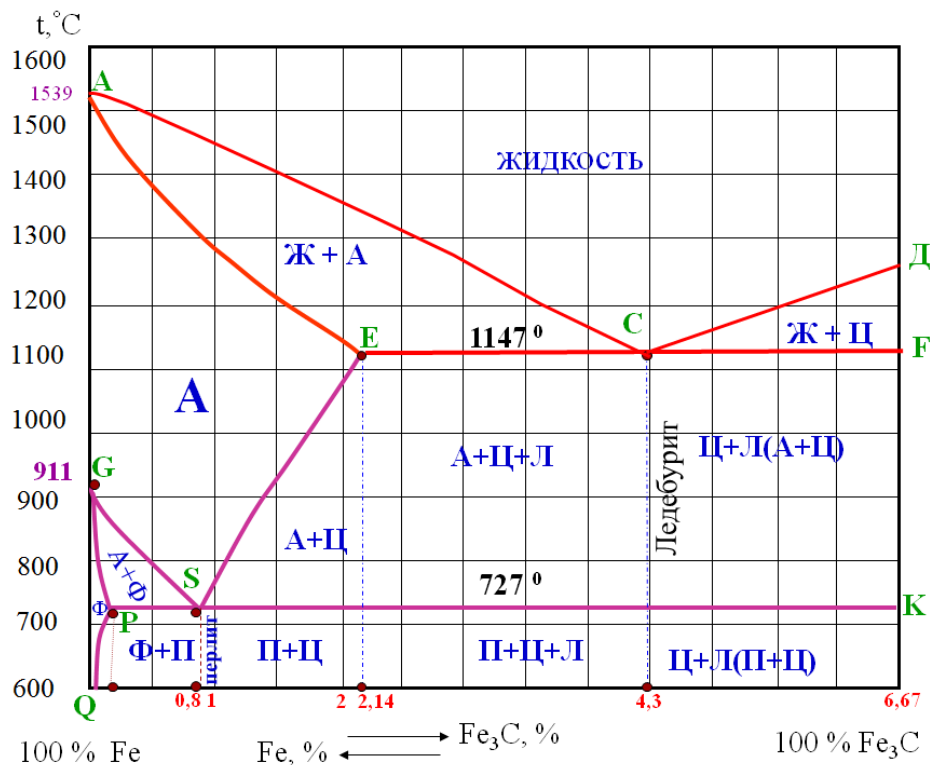
Максимальная растворимость углерода в ГЦК решётке достигает при **$1147^\circ C$ 2,14%**.

Цементит – это химическое соединение Fe_3C , которое содержит **6,67%** углерода.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Диаграмма состояния для сплавов железо-углерод ограничивается количеством углерода 6,67%, которое соответствует цементиту. Поэтому её называют диаграммой железо-цементит.

Именно сплавы с количеством углерода менее 6,67% нашли широкое практическое применение.

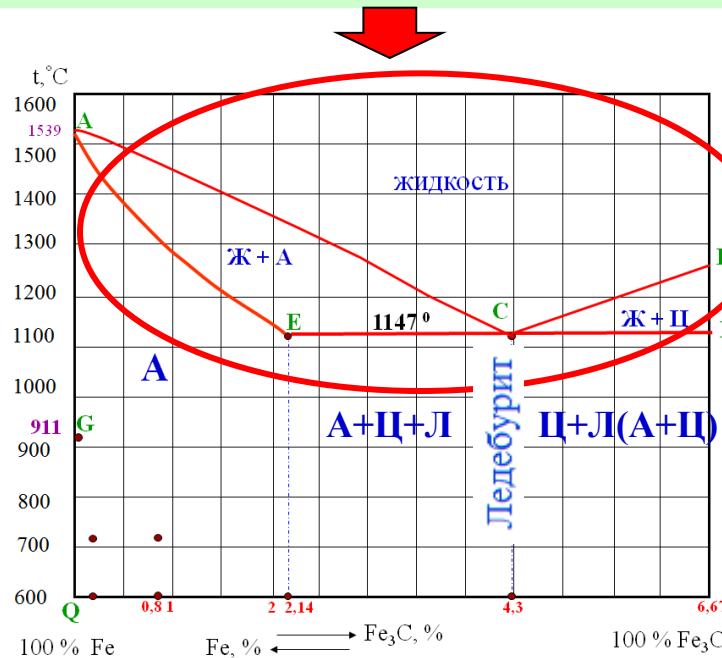


На диаграмме состояния по ординате отложена температура, по оси абсцис – две шкалы: количество углерода от 0 % (100% железа) до 6,67% (100% Fe₃C), нижняя шкала – количество цементита.

ПЕРВИЧНАЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ

Верхняя часть диаграммы соответствует **первичной кристаллизации** (из жидкого состояния). Линия **ACD** – **ликвидус** – **начало кристаллизации**, линия **AECF** – **солидус** – **конец кристаллизации**. При охлаждении **ниже линии AC** из жидкого раствора начинается выделение кристаллов твердой фазы - аустенита.

Поскольку при температуре $> 911^\circ\text{C}$ железо существует в модификации Fe_γ , то и кристаллизуется твердый раствор углерода в Fe_γ - **аустенит (A)**.



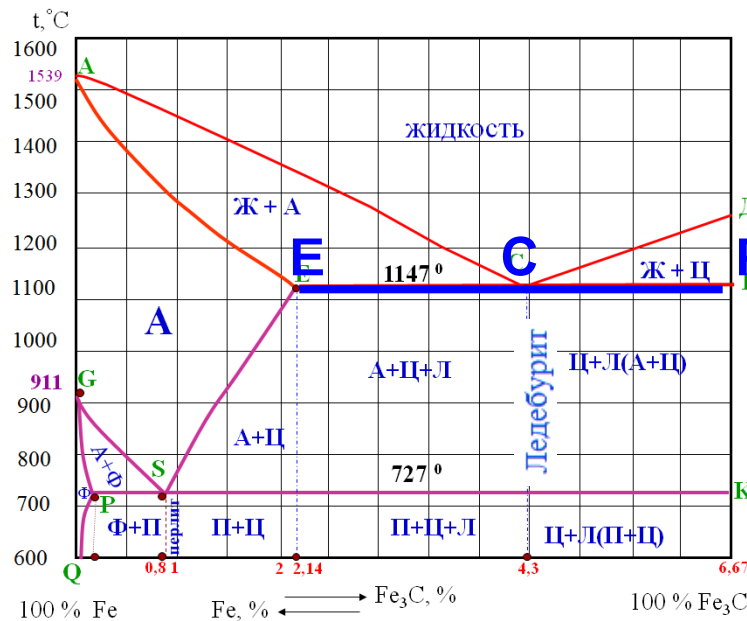
Ниже линии **CD** из жидкого раствора выделяется цементит, который называют **первичным (C_I)**.

Между линиями **ликвидуса (ACD)** и **солидуса (AECF)** существуют двухфазные области, в которых одновременно присутствуют жидкий раствор и кристаллы аустенита (между линиями AC и AEC) или цементита (между линиями CD и CF).

ПЕРВИЧНАЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ

В процессе кристаллизации происходит изменение концентрации жидкого раствора (согласно линиям ACD) и аустенита (согласно линии AE). При **1147 °С** **максимальная растворимость углерода в аустените** равна **2,14%** - точка **Е**.

При кристаллизации сплава, состав которого соответствует точке **С** (**4,3%С**), из жидкого раствора одновременно выделяются кристаллы аустенита и цементита, в виде механической смеси - **эвтектики (А+Ц)**, которая называется **ледебурит**.

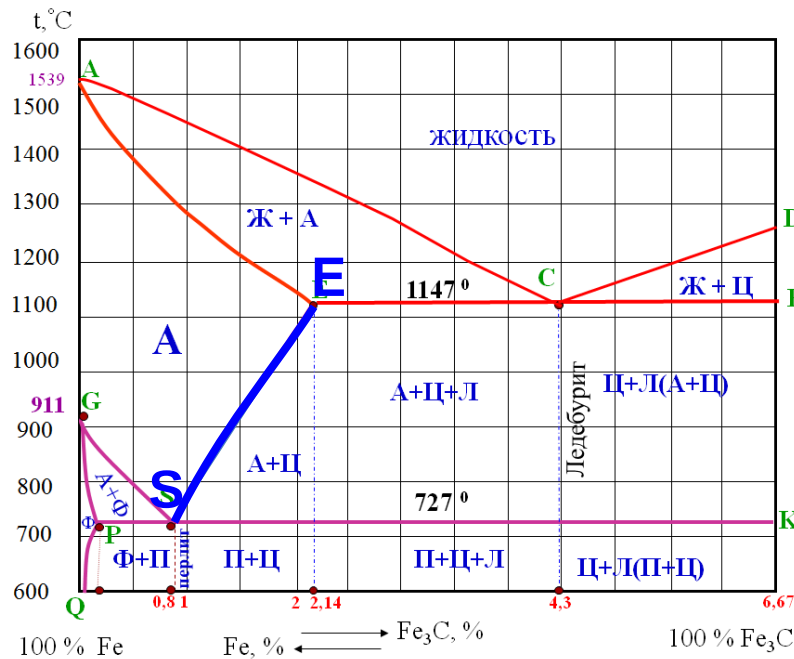


Точка **С** – эвтектическая точка. **Линия ЕСF** - эвтектическая горизонталь. При такой температуре во всех сплавах с концентрацией углерода более 2,14% кристаллизация заканчивается образованием **ледебурита**.

Ледебурит (Л) - это однородная механическая смесь аустенита и цементита, которая образуется при постоянной, наинизшей температуре (1147 °С) для всей системы сплавов.

ПРЕВРАЩЕНИЯ В ТВЁРДОМ СОСТОЯНИИ

Структурные и фазовые превращения, происходящие в железо-углеродистых сплавах в твердом состоянии (**вторичная кристаллизация**), обусловлены **полиморфизмом железа** и **уменьшением растворимости углерода** в твердых растворах (аустените и феррите) при снижении температуры.



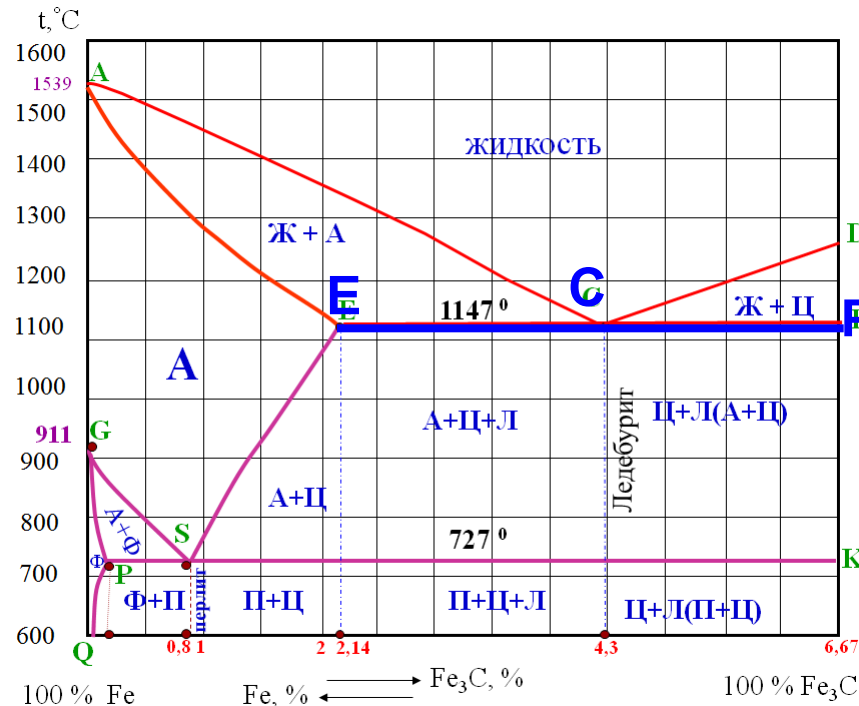
При понижении температуры растворимость углерода в Fe_γ уменьшается в соответствии с линией **ES** и при 727°C достигает **0,8%** (точка **S**).

Линия ES является **линией ограниченной растворимости** углерода в Fe_γ и при каждой температуре соответствует содержанию углерода в аустените.

ПРЕВРАЩЕНИЯ В ТВЁРДОМ СОСТОЯНИИ

Следствием уменьшения растворимости углерода в аустените является образование цементита Fe_3C . **Цементит**, который образуется в твёрдом состоянии, называют **вторичным** (Ц_{II}), в отличие от первичного, который выделяется из жидкого раствора.

В сплавах с концентрацией C от 2,14 до 4,3% уменьшение растворимости углерода в аустените с понижением температуры также вызывает выделение вторичного цементита.



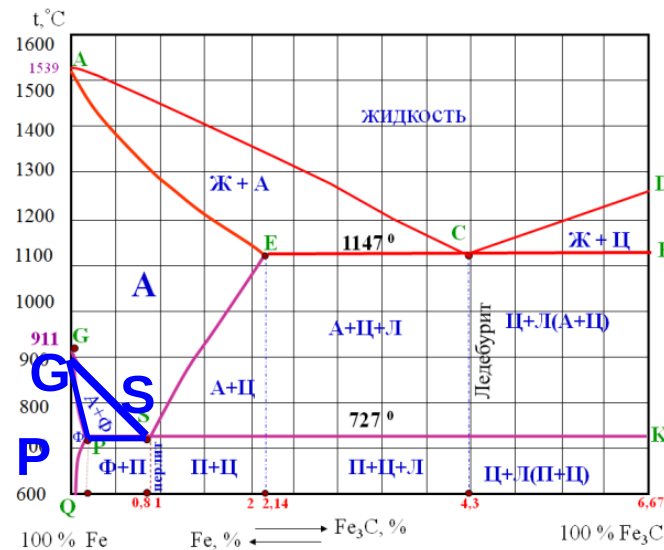
При температурах ниже линии **ECF** структура состоит из **аустенита, ледебурита и вторичного цементита**.

Аналогичное превращение происходит и в сплавах с количеством углерода **свыше 4,3%** - структура состоит из **аустенита и вторичного цементита**.

ПРЕВРАЩЕНИЯ В ТВЁРДОМ СОСТОЯНИИ

При температуре 727 °С концентрация углерода в аустените во всех сплавах равна 0,8% (точка **S**). Точка **G** соответствует температуре полиморфного превращения чистого железа (911 °С).

С увеличением содержания углерода температура полиморфного превращения в сплавах понижается.



Линия GS

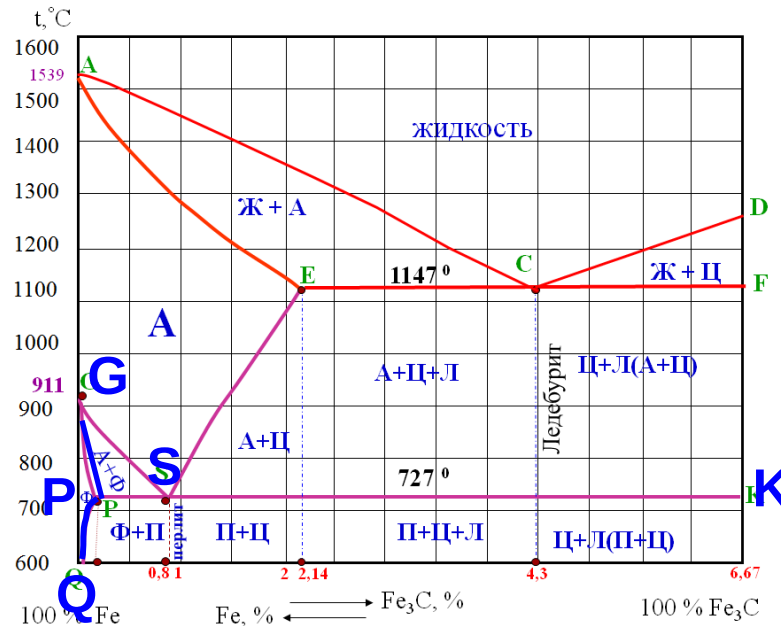
соответствует началу выделения феррита для сплавов с различной концентрацией углерода до 0,8%.

Между линиями **GS** и **GPS** структура феррит и аустенит.

ПРЕВРАЩЕНИЯ В ТВЁРДОМ СОСТОЯНИИ

Линия **GP** соответствует окончанию $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения в сплавах. Точка **P** показывает максимальную растворимость углерода в феррите, которая при температуре 727°C составляет 0,03%. Ниже этой линии существует чистый феррит (Φ).

С понижением температуры растворимость углерода в феррите уменьшается по линии **PQ**, и при комнатной температуре достигает 0,006% (точка **Q**).



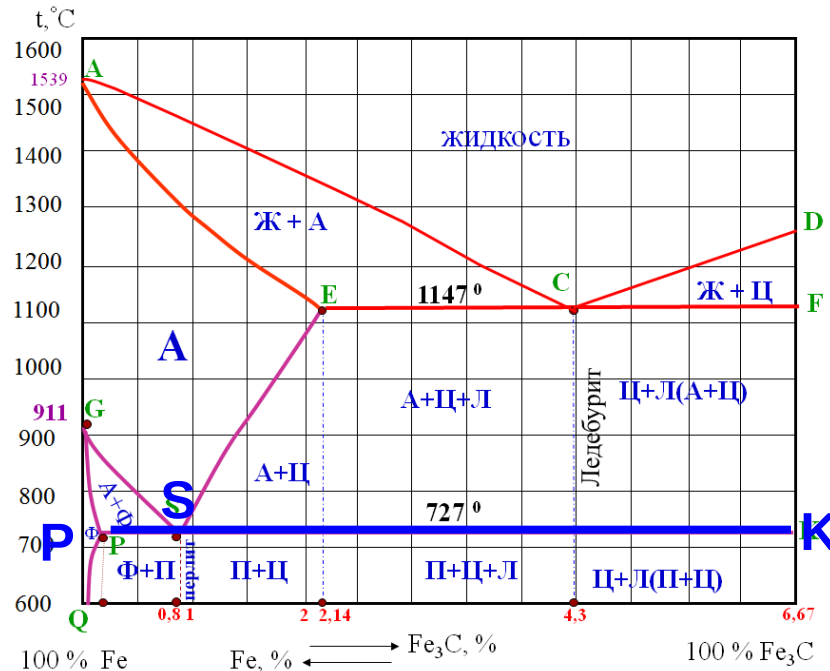
PQ - линия ограниченной растворимости углерода в Fe_α . В результате снижения растворимости из феррита также выделяется избыточный цементит (третичный).

В точке **S** и по линии **PSK** из аустенита **одновременно выделяются две фазы** - **феррит**, который образовался в результате полиморфного превращения, и **цементит**, выделившийся в результате уменьшения растворимости углерода в аустените.

ПРЕВРАЩЕНИЯ В ТВЁРДОМ СОСТОЯНИИ

Однородная механическая смесь феррита и цементита, которая образуется из аустенита при постоянной температуре 727°C и имеющая концентрацию углерода $0,8\%$ называется **перлитом**.

Эта структура формируется при распаде твердого раствора – аустенита - и ее называют **ЭВТЕКТОИДОМ**.



Точка **S** – **эвтектоидная точка, линия PSK** (727°C) - это линия эвтектоидного (перлитного) превращения или эвтектоидная горизонталь.

При температурах **ниже 727°C** **аустенит не существует**.

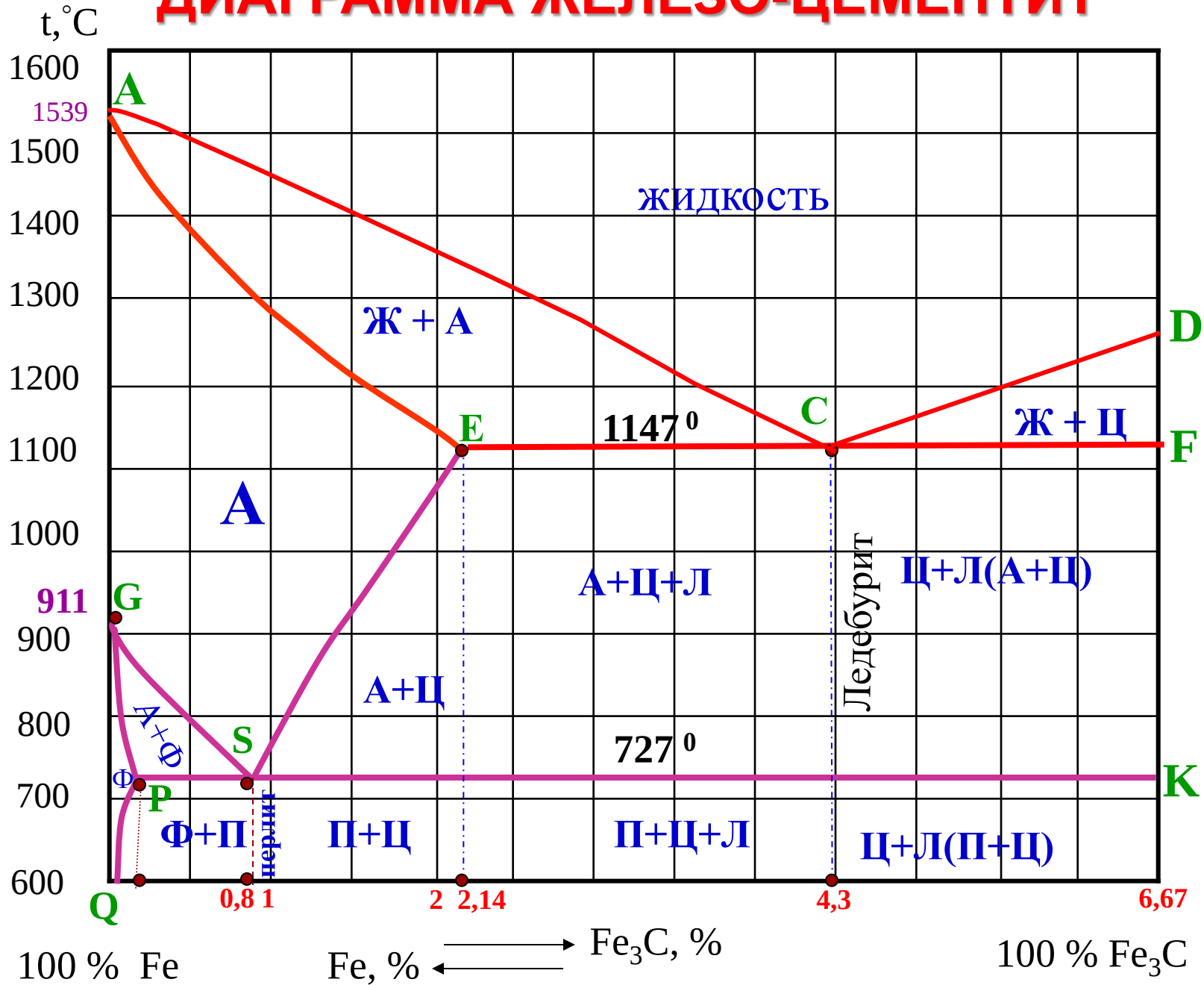
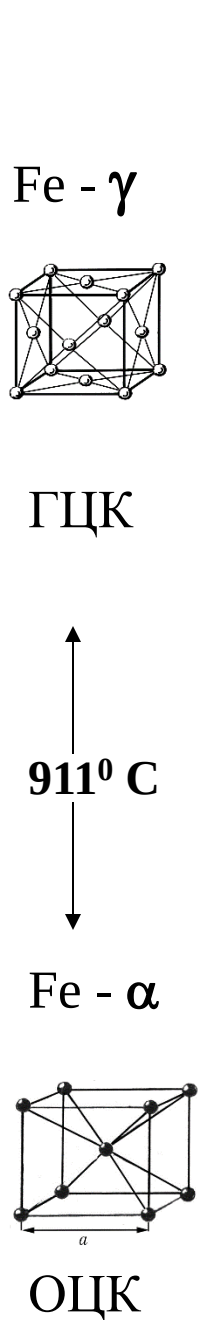
В зависимости от количества углерода **все сплавы системы Fe - Fe₃C** делятся на **две группы: стали и чугуны**. **Стали** – это сплавы, содержащие **менее $2,14\%$** углерода, **чугуны** - **более $2,14\%$** C.

ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫЕ СПЛАВЫ

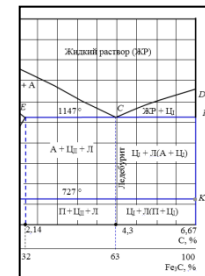
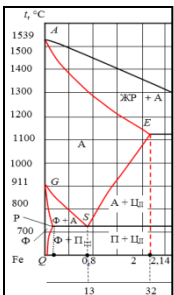
Диаграмма отражает **углеродистые стали** и **белые чугуны** (углерод находится в виде цементита)



ДИАГРАММА ЖЕЛЕЗО-ЦЕМЕНТИТ



Сплавы Fe-C



Стали - сплавы, содержащие до 2,14 % С (Левее точки E)

Чугуны - сплавы, содержащие свыше 2,14 % С (правее точки E)

Дозвтектоидные, содержащие <0,8 % С (левее точки S)

Эвтектоидные, содержащие 0,8 % С (точка S)

Заэвтектоидные, содержащие от 0,8 до 2,14 % С, (правее т. S)

Дозвтектоидные, содержащие от 2,14 до 4,3 % С (левее т. C)

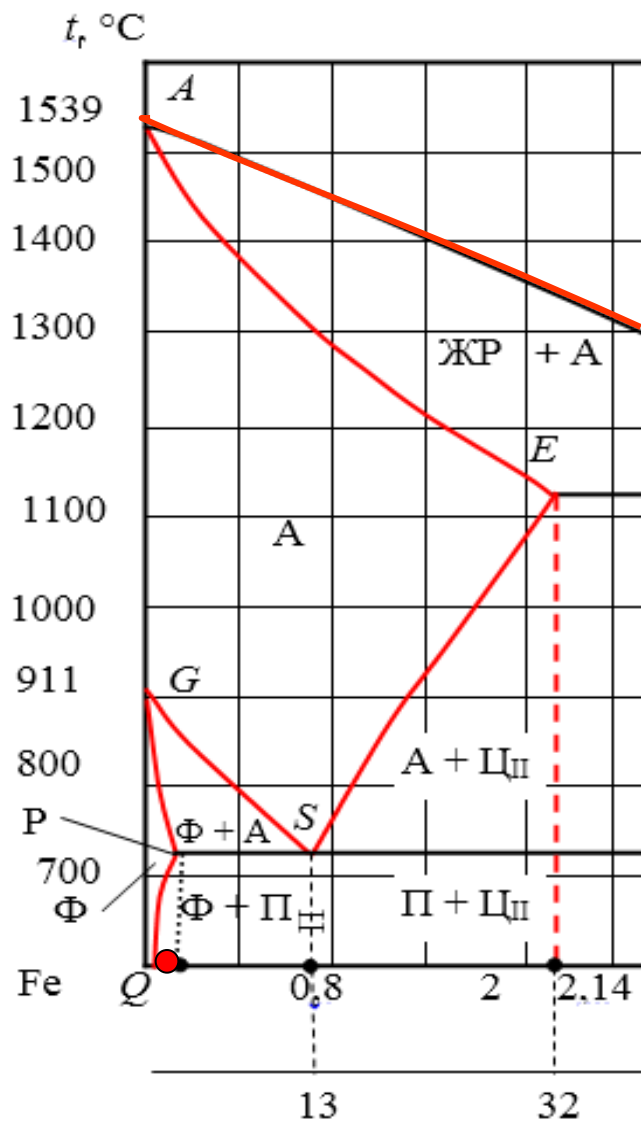
Эвтектоидные, содержащие 4,3 % С (точка C)

Заэвтектоидные, содержащие Свыше 4,3 % С (правее т. C)

В зависимости от содержания углерода **стали** делятся на: **дозвтектоидные** (<0,8 % С), **эвтектоидную** (0,8%С) и **заэвтектоидные** (С>0,8%).

Техническое железо ($C \leq 0,02\%$)

Сплавы, содержащие менее 0,03%С, представляют собой **техническое железо**. Структура – **феррит (Ф)**, у которого низкая твёрдость и высокая пластичность ($HBW \sim 70$, $\sigma_B \sim 200 \text{ МПа}$, $\delta \sim 40\%$, $\psi \sim 60\%$).

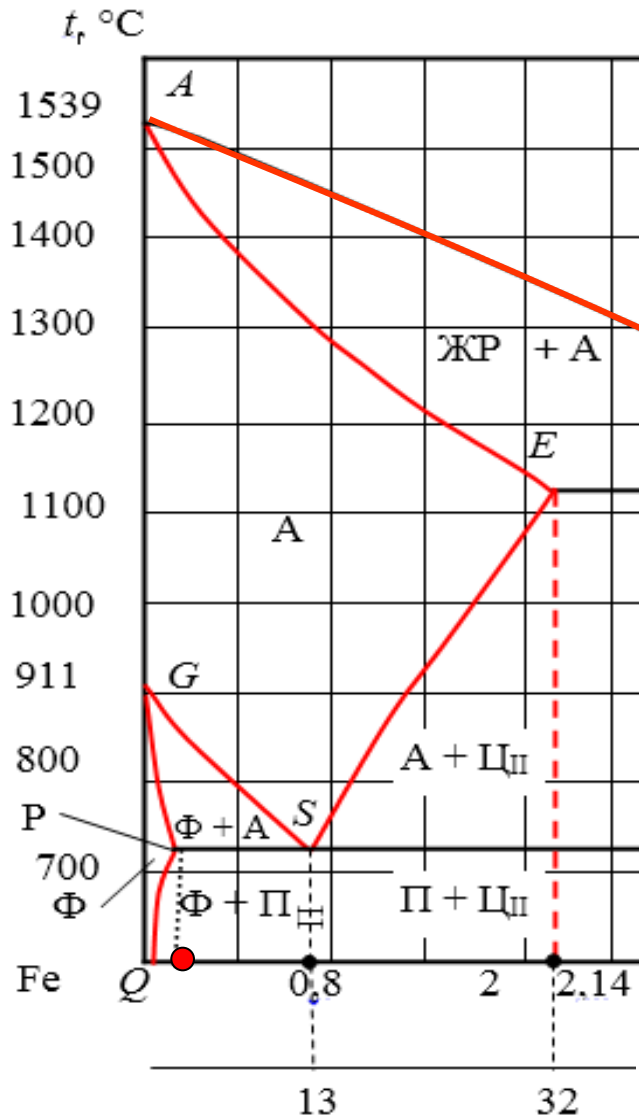


Феррит

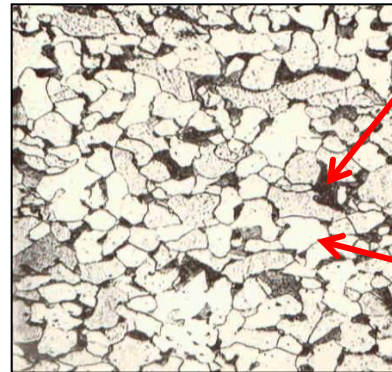
МАГНИТОПРОВОДЫ



Сталь 20 (C ~ 0, 2%)



При содержании углерода в стали 0,2% структура - феррит и перлит. **Перлит** (П) – это механическая смесь феррита и цементита пластинчатого строения. Цементит имеет высокую твёрдость. Чем больше в стали углерода, тем она прочнее и твёрже.



ПОРШНЕВОЙ
ПАЛЕЦ

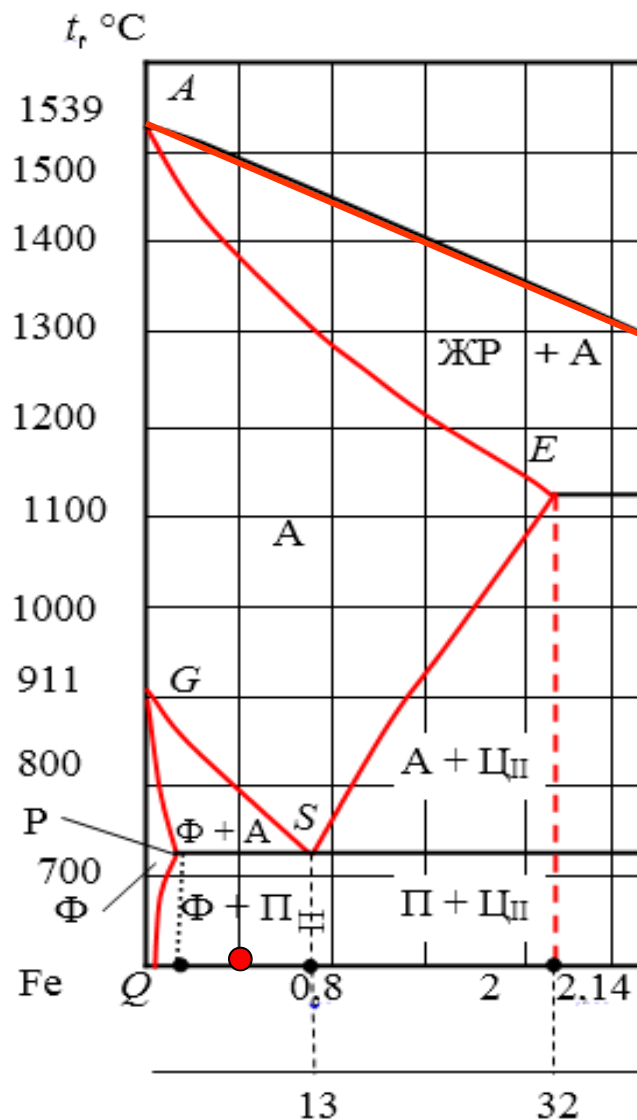


ВАЛ

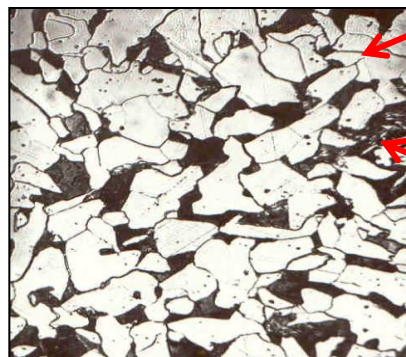


ШЕСТЕРНЯ

Сталь 40 (C ~ 0,4%)



При содержании углерода в стали 0,4% структура - **феррит** и **перлит**. В процентном соотношении перлита больше, чем в стали 20. Поэтому сталь более твёрдая и прочная, но менее пластичная и вязкая.



ШАТУН

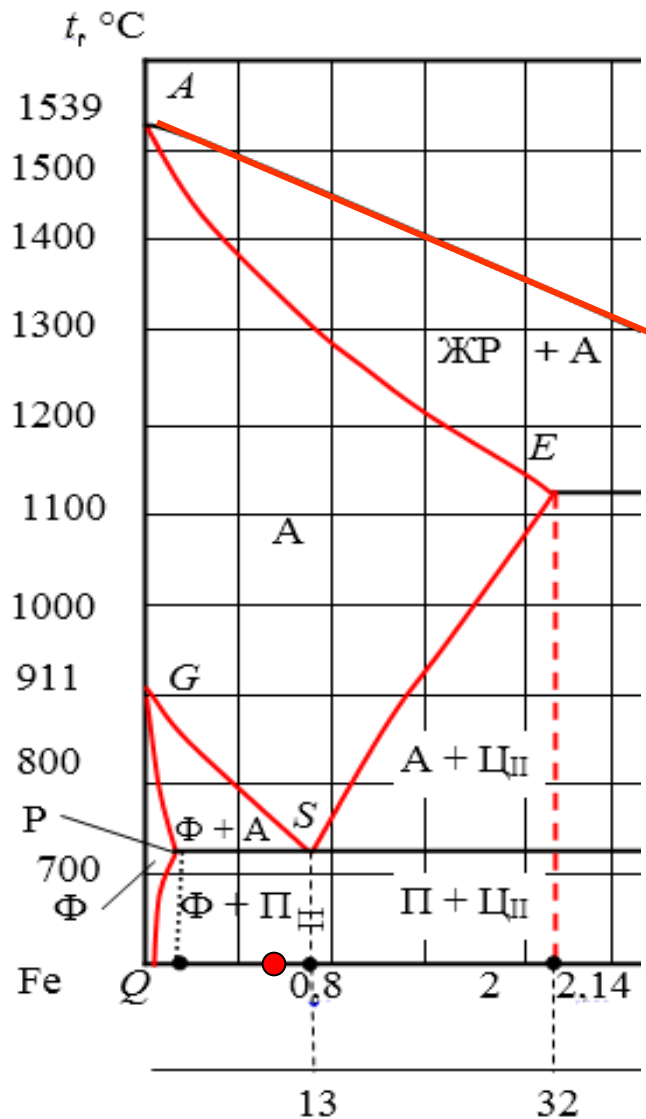


ПЕРВИЧНЫЙ
ВАЛ КОРОБКИ
ПЕРЕДАЧ

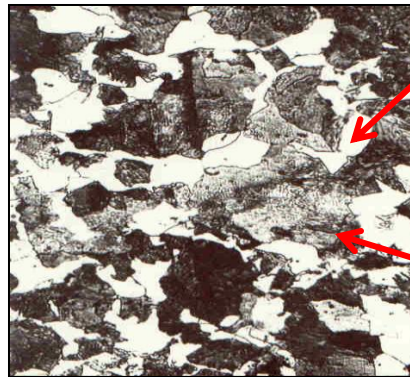


РАСПРЕДВАЛ

Сталь 60 (C ~ 0,6%)



В стали 60 количество перлита значительно превышает содержание феррита. Сталь более прочная и менее пластичная.



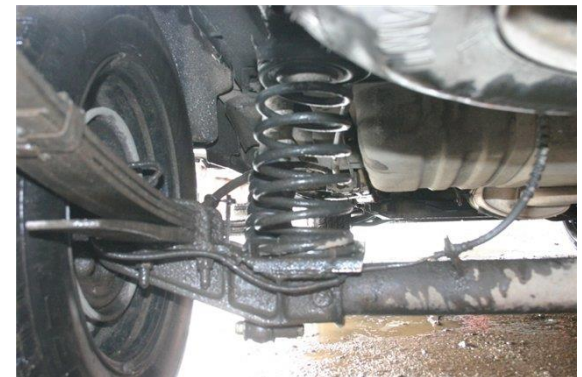
Ф

П

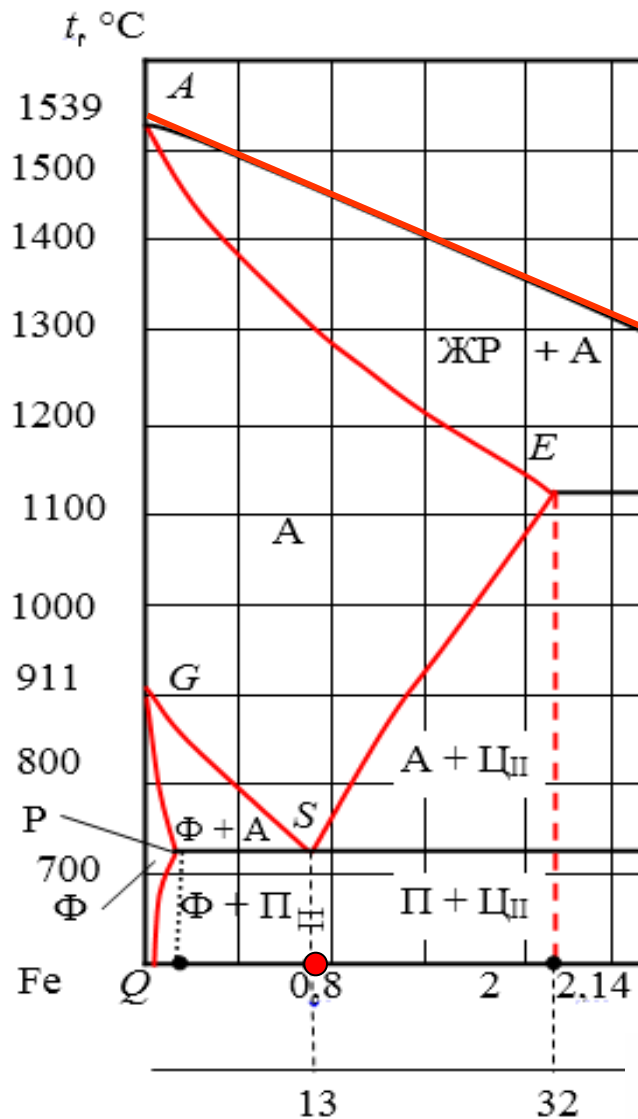


РЕССОРЫ

ПРУЖИНЫ



Сталь У8 (C = 0,8%)



Структура стали У8 – 100% перлит. Сталь достаточно твёрдая, хрупкая, поэтому прочность понижается.



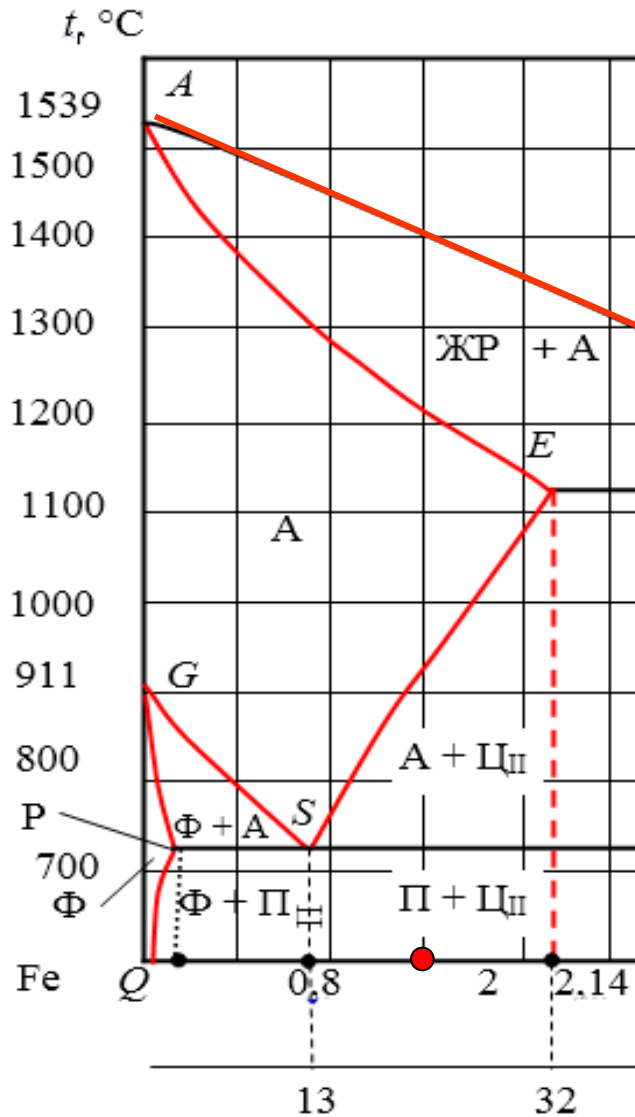
СТОЛЯРНО-СЛЕСАРНЫЙ
ИНСТРУМЕНТ



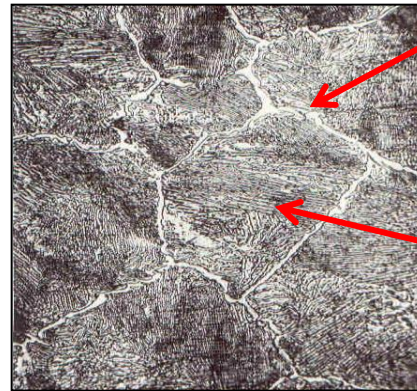
The background of the slide is a micrograph showing the pearlite structure. It consists of alternating, fine, dark and light lamellae of ferrite and cementite, forming a characteristic wavy, fingerprint-like pattern. A white rectangular box is superimposed on the upper part of the image, containing text.

Перлит – механическая смесь: феррит +
цементит

Сталь У12 (C ~ 1,2%)



Сталь У12 – заэвтектоидная сталь, структура состоит из перлита и вторичного цементита, расположенного по границам зёрен в виде светлой сетки. Чем больше в стали углерода, тем толще сетка цементита.



НОЖОВКА



МЕТЧИКИ



ПЛАШКА



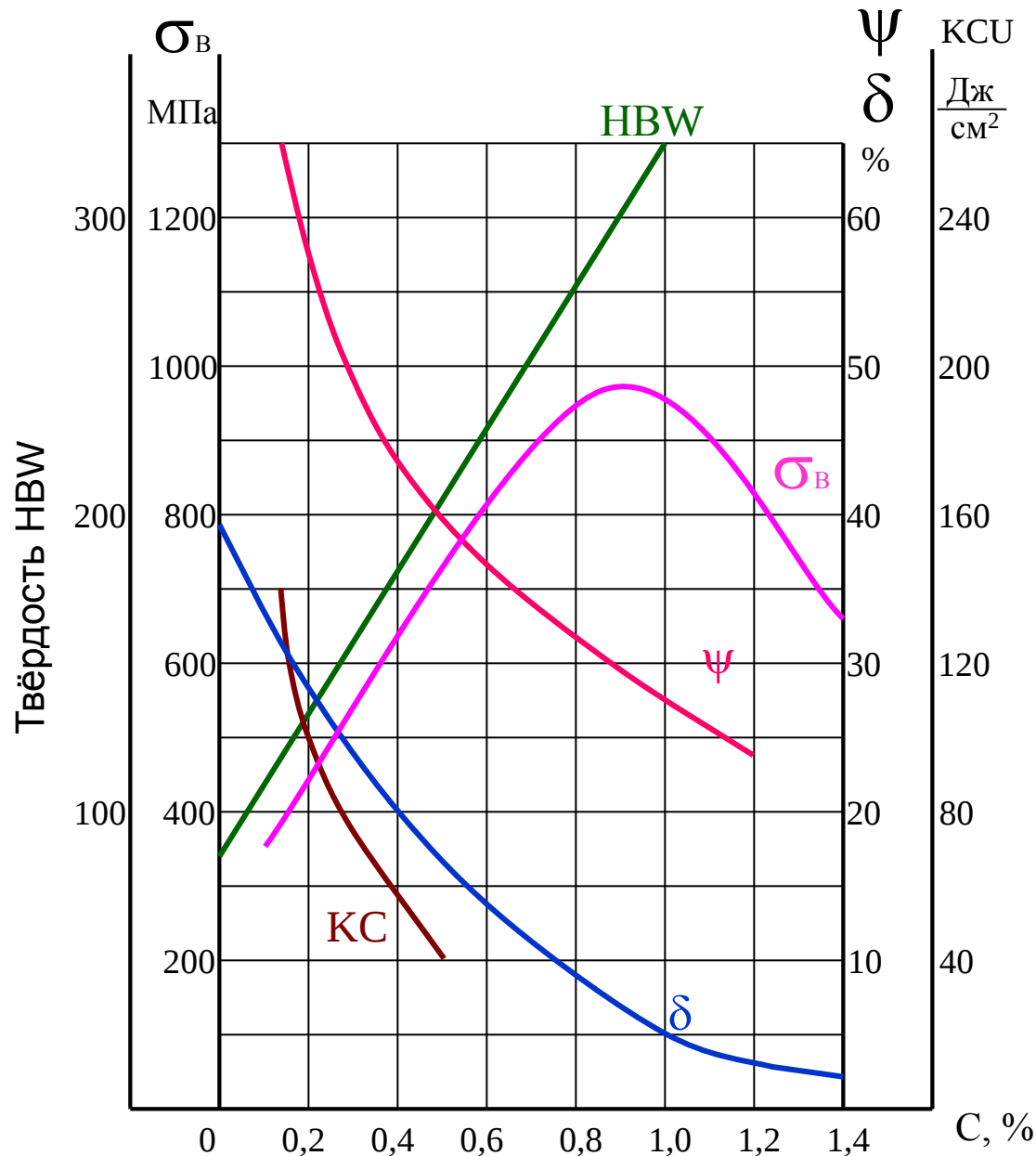
НАПИЛЬНИКИ

Перлит

Цементит

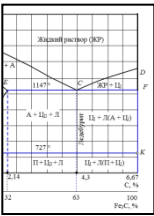


ВЛИЯНИЕ УГЛЕРОДА НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛИ



С повышением в стали содержания углерода, изменяется соотношение мягкого, пластичного феррита и твёрдого и хрупкого цементита, что сказывается на уровне механических свойств. Поэтому с увеличением количества углерода твёрдость повышается, а пластичность и ударная вязкость снижаются. Прочность повышается до 0,9% углерода, а затем понижается, так как сталь становится хрупкой (много цементита).

Сплавы Fe-C



Стали - сплавы, содержащие до 2,14 % C (Левее точки E)

Дозвтектоидные, содержащие <0,8 % C (левее точки S)

Эвтектоидные, содержащие 0,8 % C (точка S)

Заэвтектоидные, содержащие от 0,8 до 2,14 % C, (правее т. S)

Чугуны - сплавы, содержащие свыше 2,14 % C (правее точки E)

Дозвтектические, содержащие от 2,14 до 4,3 % C (левее т. C)

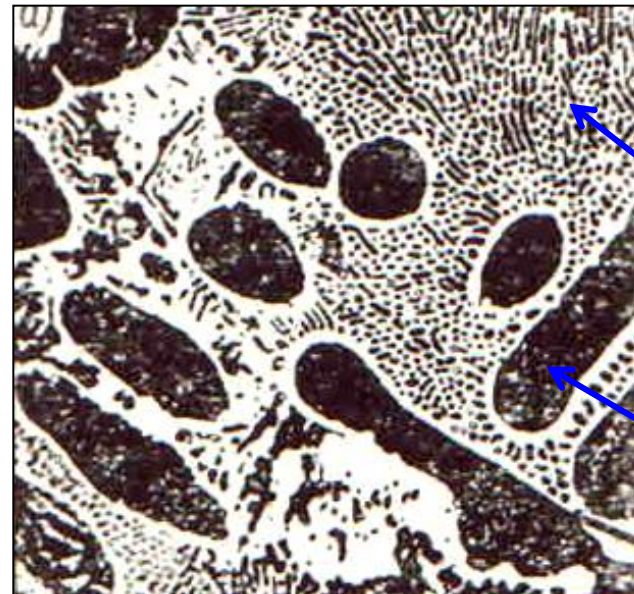
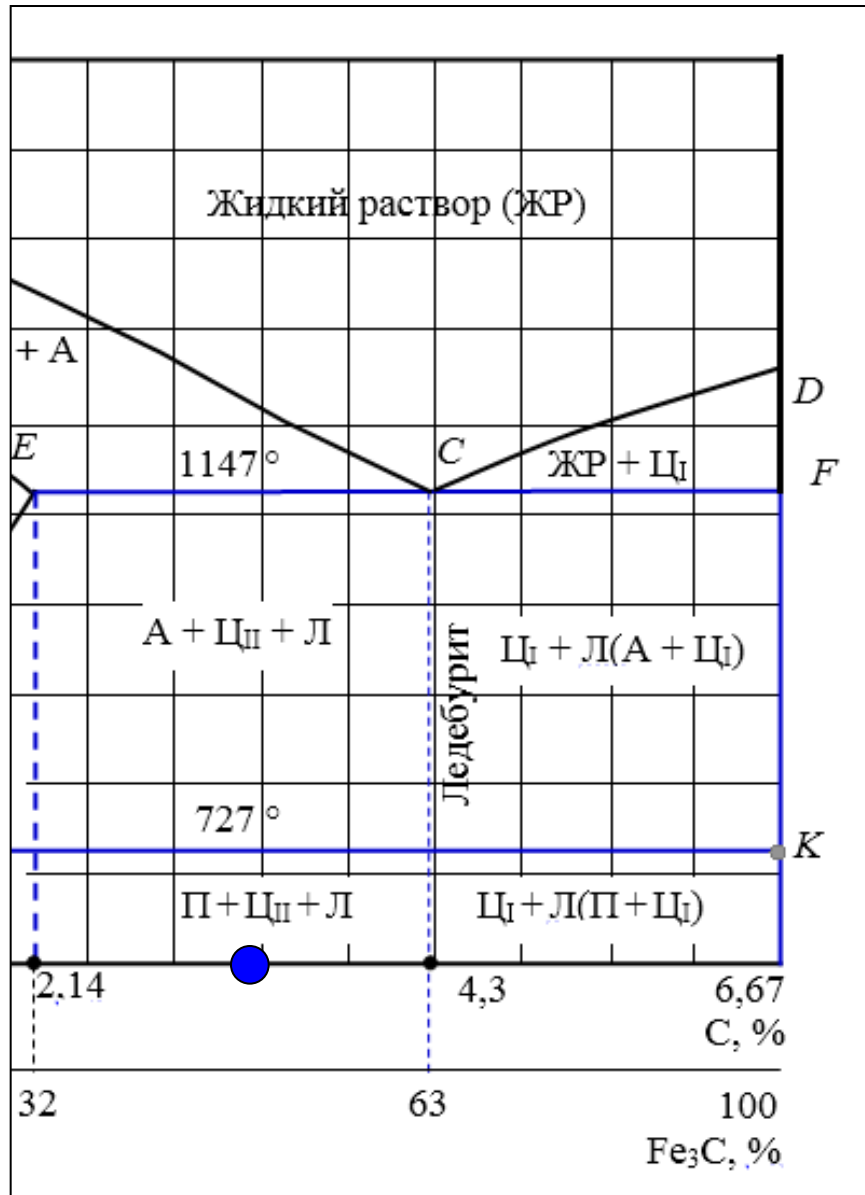
Эвтектические, содержащие 4,3 % C (точка C)

Заэвтектические, содержащие Свыше 4,3 % C (правее т. C)

В зависимости от содержания углерода **белые чугуны** делятся на: доэвтектические (< 4,3%С), эвтектический (4,3%С) и заэвтектические (> 4,3%С).

Белый доэвтектический чугун ($C < 4,3\%$)

Структура чугуна состоит из перлита, ледебурита (перлит+цементит) и вторичного цементита, который при металлографических исследованиях не выявляется как отдельная фаза.

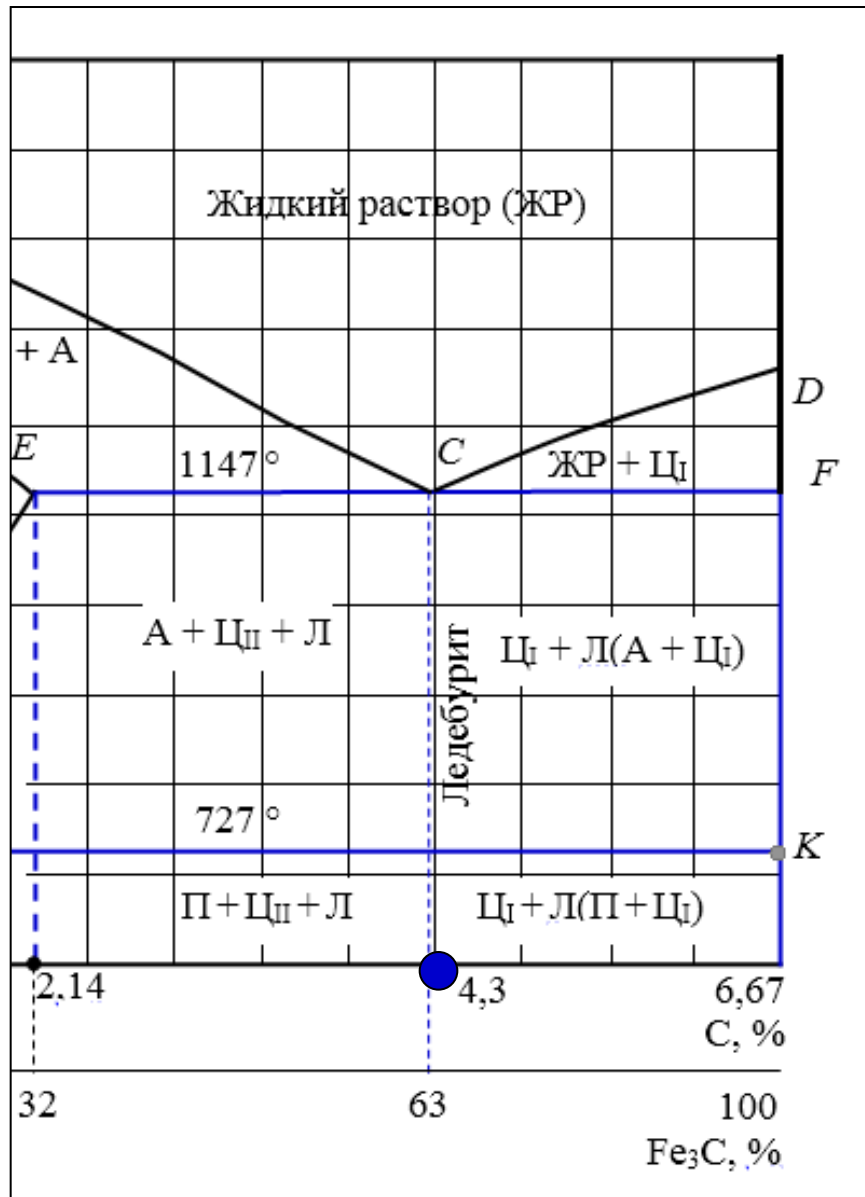


Ледебурит

Перлит

Белый эвтектический чугуни (C = 4,3%)

Структура чугуна согласно диаграмме железо-цементит - ледебурит — механическая смесь перлита и цементита.





Ледобурит – механическая смесь: перлит
+ цементит

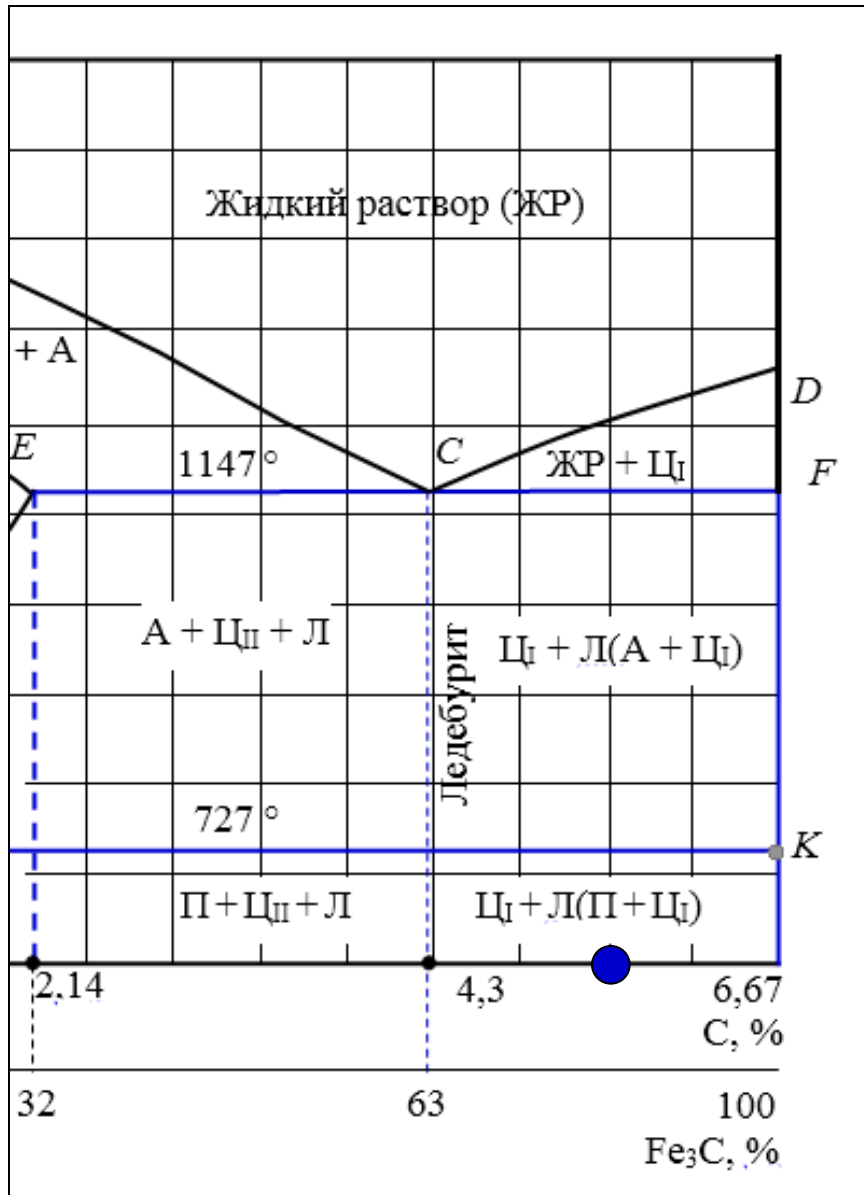
This micrograph shows the Ledeburite structure, which is a mechanical mixture of pearlite and cementite. The pearlite (labeled 'п') consists of alternating layers of ferrite and cementite, appearing as dark, elongated, and somewhat rounded regions. The cementite (labeled 'ц') is a hard, brittle phase that appears as a network of dark, irregular, and elongated structures. The overall appearance is a complex, interlocking pattern of these two phases.

п

ц

Белый заэвтектический чугун ($C > 4,3\%$)

Структура чугуна состоит из ледебурита и вторичного цементита.



Детали, которые изготавливают из белого чугуна

**ПРОКАТНЫЕ
ВАЛКИ (БЕЛЫЙ
ЧУГУН В
ПОВЕРХНОСТНОМ
СЛОЕ)**



**КОЛЁСА, РАБОТАЮЩИЕ В
УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОГО
ИЗНОСА**



МЕЛЮЩИЕ ШАРЫ

Большое количество цементита в структуре белых чугунов (60% при содержании 4,3% C) обуславливает их высокую твердость и хрупкость, низкую пластичность, вызывает трудности при обработке резанием и давлением, что очень ограничивает их использование. Белые чугуны не маркируются.

ГРАФИТИЗИРОВАННЫЕ ЧУГУНЫ

В графитизированных чугунах углерод находится в свободном состоянии в виде графита различной формы.

**Пластинчатый
графит**



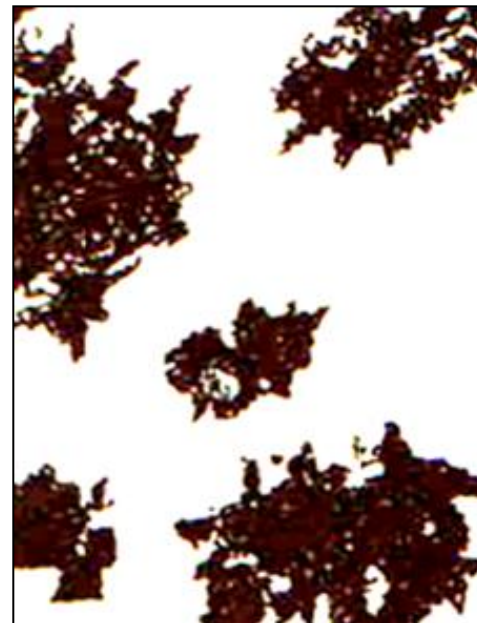
Серый чугун

**Шаровидный
графит**



**Высокопрочный
чугун**

**Хлопьевидный
графит**

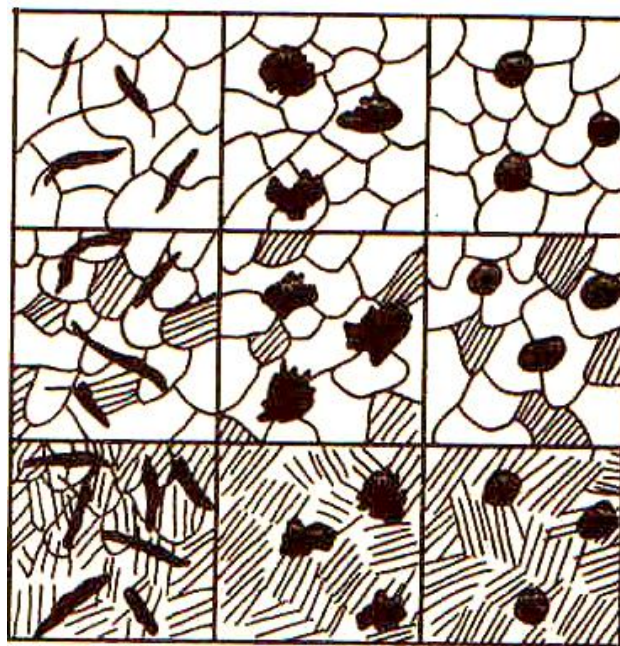


Ковкий чугун

ГРАФИТИЗИРОВАННЫЕ ЧУГУНЫ

Структура графитизированных чугунов состоит из металлической основы (матрицы) и включений графита. В зависимости от формы графита различают **серый**, **ковкий** и **высокопрочный** чугуны.

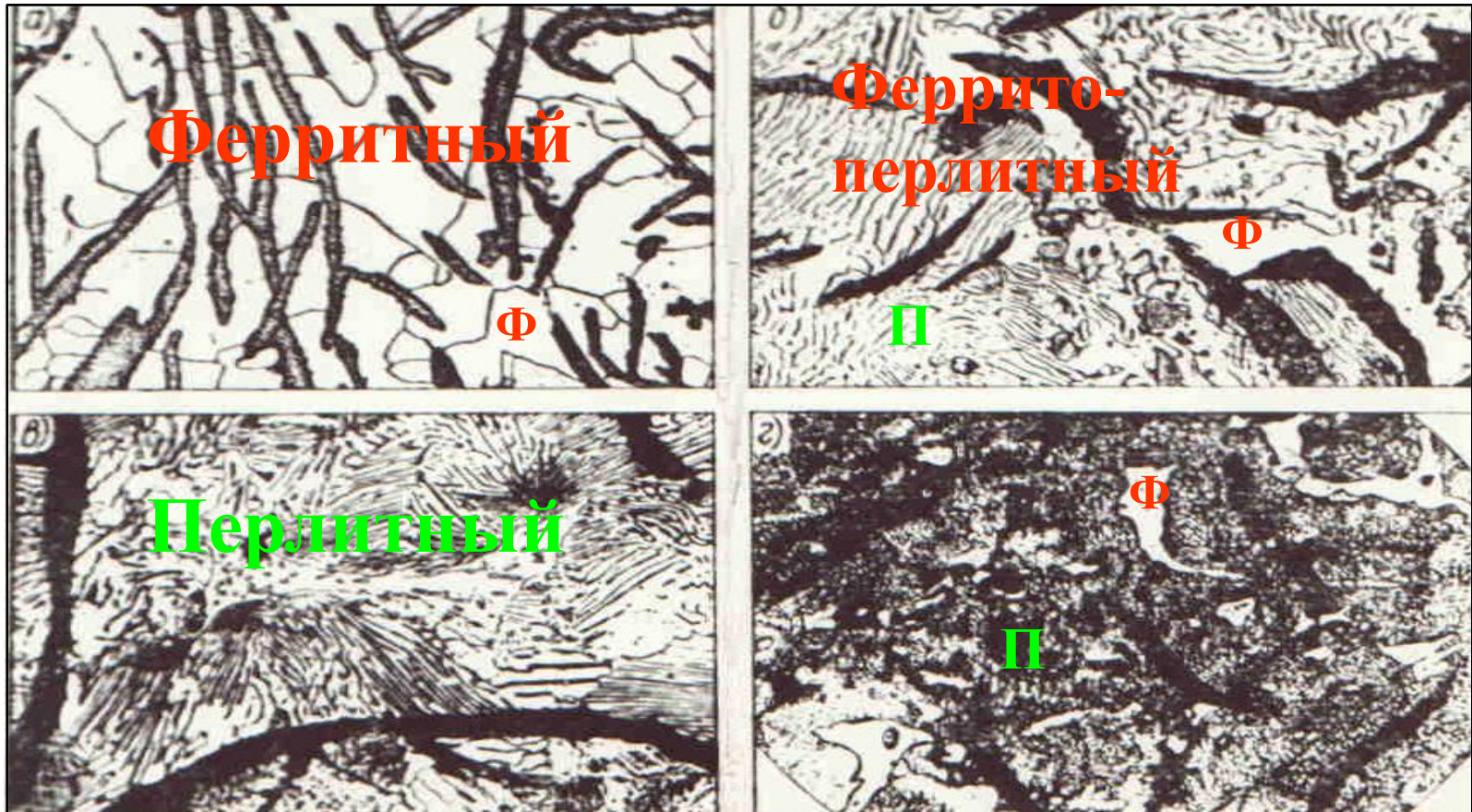
Металлическая основа чугунов может быть **ферритной, перлитной и феррито-перлитной**. По сути чугун можно рассматривать как сталь, в которой расположены графитные включения.



Наибольшим концентратором напряжений является пластинчатый графит. У серых чугунов пластичность практически равна нулю. Наиболее высоким комплексом механических свойств обладает высокопрочный чугун с шаровидным графитом.

Механические свойства графитизированных чугунов **зависят как от структуры металлической матрицы, так и от формы, размеров и количества графитных включений**. Форма графита обуславливает пластичность, поэтому серый чугун, независимо от структуры металлической основы, имеет пластичность ~0,5%.

СЕРЫЙ ЧУГУН



Ферритный – СЧ10, СЧ15

$\sigma_B = 100 - 150 \text{ МПа}$

$\delta \sim 1 \%$

Феррито-перлитный СЧ20, СЧ30

$\sigma_B = 200 - 300 \text{ МПа}$

$\delta \sim 0.5 \%$

Перлитный СЧ40

$\sigma_B = 400 \text{ МПа}$

$\delta \sim 0.2 \%$

В **марке серого чугуна** указывается только показатель прочности.

СЕРЫЙ ЧУГУН

В связи с тем, что пластинчатый графит является концентратором напряжений и пластичность и ударная вязкость у него низкие, его применяют для изделий, которые эксплуатируются в статике: станины станков, корпуса редукторов, фланцы, кожухов.



ТОРМОЗНОЙ ДИСК



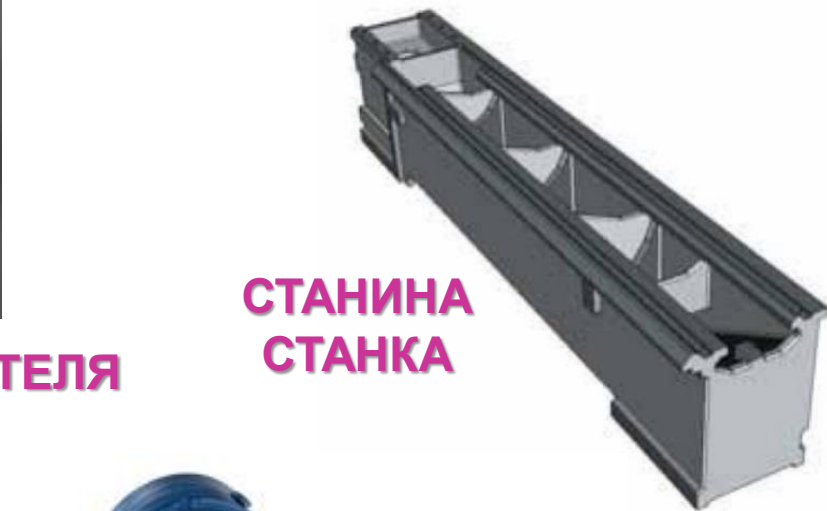
НАСОС ГИДРОУСИЛИТЕЛЯ



ЛИТАЯ ЗАДВИЖКА



КОРПУС РЕДУКТОРА



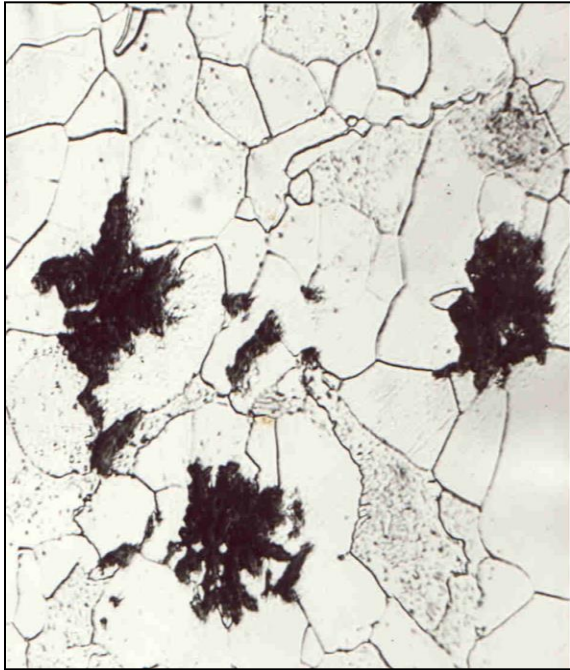
СТАНИНА
СТАНКА



КОРПУСА ПОДШИПНИКОВЫХ
УЗЛОВ

КОВКИЙ ЧУГУН

Ферритный



КЧ 37-12

$\sigma_B = 370 \text{ МПа}$

$\delta = 12 \%$

Перлитный



КЧ70-2

$\sigma_B = 700 \text{ МПа}$

$\delta = 2 \%$

Маркируют ковкие чугуны буквами КЧ, первые две цифры показывают предел прочности σ_B в МПа·10⁻¹. Другие две или одна – относительное удлинение δ в процентах.

КОВКИЙ ЧУГУН

Ковкие чугуны при достаточной прочности имеют более высокую пластичность, чем серые. Их применяют в автомобильном и сельскохозяйственном машиностроении, в строительстве. Ковкий чугун получают длительным отжигом белого чугуна.



**КРЫШКА
ЗАЩИТНАЯ
ДИФФЕРЕНЦИАЛА**



КРЫШКА КАРТЕРА



**КАРТЕР
СЦЕПЛЕНИЯ**



ФИТТИНГИ



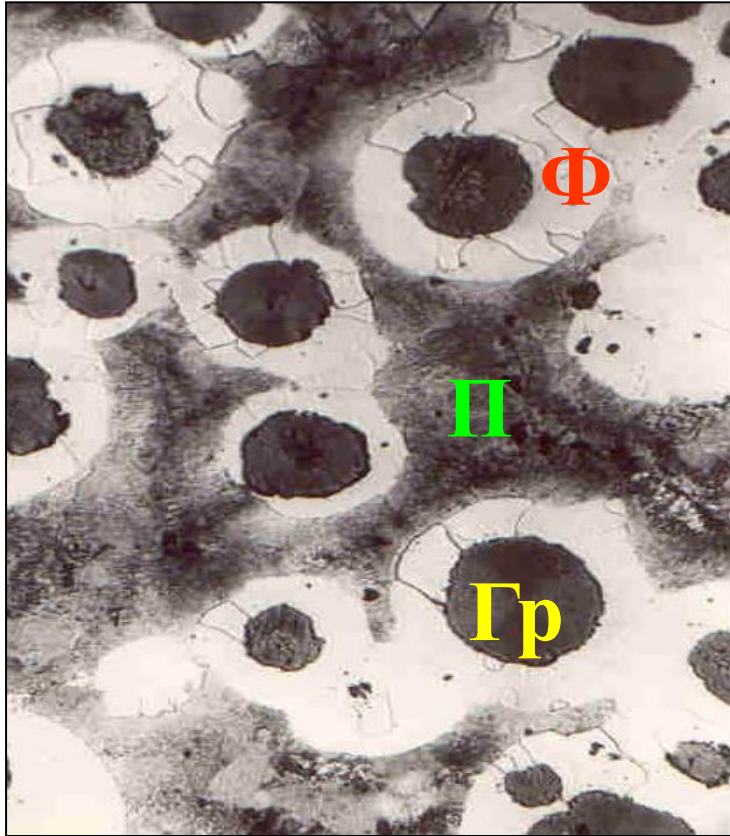
КРЫЛЬЧАТКА



ШАРОВОЙ КРАН

ВЫСОКОПРОЧНЫЙ ЧУГУН

Феррито-перлитный



Ферритный - **ВЧ350-22**

$$\sigma_B = 350 \text{ МПа}$$

$$\delta = 22 \%$$

Феррито-перлитный -
ВЧ500-7

$$\sigma_B = 500 \text{ МПа}, \delta = 7 \%$$

Перлитный – **ВЧ1000-2**

$$\sigma_B = 1000 \text{ МПа}$$

$$\delta = 2 \%$$

В **марке высокопрочного чугуна**: буквы обозначают принадлежность к высокопрочному чугуну, первые числа (до дефиса) показывают предел прочности σ_B в МПа, а число через дефис – относительное удлинение δ в процентах.

ВЫСОКОПРОЧНЫЙ ЧУГУН

Высокопрочные чугуны обладают наилучшими механическими свойствами и зачастую применяются, как заменитель литой стали. Изготавливаются детали, к которым предъявляются высокие требования относительно статической и усталостной прочности.



КОРПУС



ШЕСТЕРНЯ



КОЛЕНЧАТЫЙ ВАЛ



РАСПРЕДВАЛ



БЛОК ЦИЛИНДРОВ



ТОРМОЗНОЙ ДИСК

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 1) Исследовать под микроскопом и сфотографировать структуры сталей с различной концентрацией углерода. Определить по структуре, какой из образцов является техническим железом, доэвтектоидной, эвтектоидной и заэвтектоидной сталью.
- 2) Измерить твердость сталей различных марок.
- 3) Изучить микроструктуру белых чугунов, определить, какой из образцов является доэвтекктическим, эвтекктическим, заэвтекктическим чугуном.
- 4) Исследовать микрошлифы графитизированных чугунов в нетравленном состоянии и по форме графита определить вид чугуна (серый, ковкий, высокопрочный).
- 5) Изучить микроструктуру графитизированных чугунов после травления и определить характер структуры их металлической основы.
- 6) Оформить отчет о работе.

ОТЧЁТ О РАБОТЕ

Отчёт о работе должен включать:

1. Цель работы.
2. Краткое изложение теоретических основ работы.
3. Схемы микроструктур технического железа, доэвтектоидной, эвтектоидной и заэвтектоидной сталей с обозначением структурных составляющих, содержания углерода и марки стали.
4. Данные о твердости HRB сталей с различным содержанием углерода.
5. Схемы микроструктур белых чугунов (доэвтектического, эвтектического и заэвтектического) с обозначением структурных составляющих и содержания углерода (по данным преподавателя).
6. Схемы микроструктур серого, высокопрочного, ковкого чугунов с обозначением графитных включений, структурных составляющих металлической основы и марки чугуна (по данным преподавателя).
7. Выводы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1) Какие фазы образует железо с углеродом?
- 2) Охарактеризовать все линии на диаграмме Fe–Fe₃C.
- 3) Что такое эвтектика и эвтектоид?
- 4) Дать определение ледебуриту.
- 5) Что такое перлит?
- 6) На какие группы делятся стали в зависимости от содержания углерода?
- 7) Какова структура сталей при комнатной температуре?
- 8) Как изменяются свойства стали с повышением содержания углерода?
- 9) Какие чугуны относятся к белым?
- 10) Что такое серый чугун и как он маркируется?
- 11) Какая форма графитных включений в высокопрочном чугуне и как он маркируется?
- 12) Что такое ковкий чугун? Привести примеры маркировки.

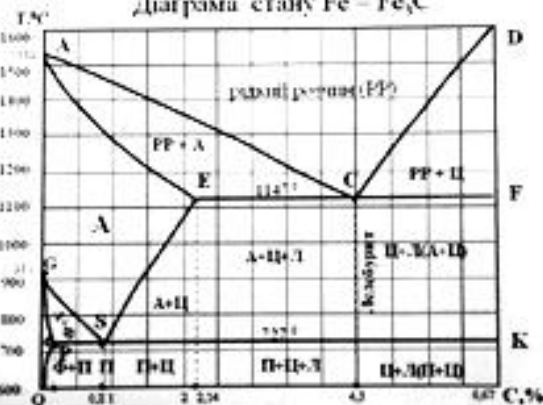
ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. Изучить структуру и свойства чугуна с вермикулярным графитом.
2. Ознакомиться с технологией получения ковкого чугуна из белого.
3. Ознакомиться со стандартами на графитизированные чугуны.
4. Ознакомиться со стандартами на стали.

Протокол к лабораторной работе №6 **«Диаграмма железо-углерод. Железоуглеродистые сплавы: стали и чугуны»**



Диаграмма сплавов Fe – Fe₃C



Углеродистые доэвтектоидные стали (C<0,8%)



Сталь 10
(C≈0,1%)



Сталь 30
(C≈0,3%)



Сталь 60
(C≈0,6%)

Эвтектоидная



Сталь У8
(C≈0,8%)

Заэвтектоидная

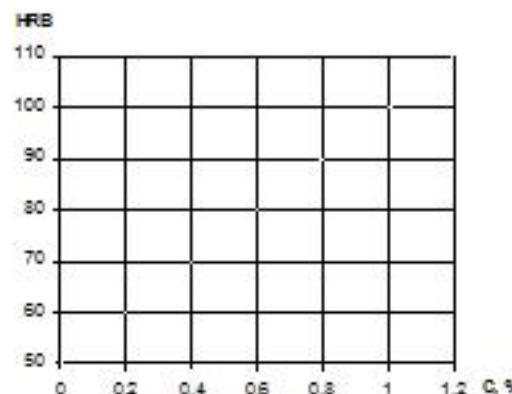


Сталь У10
(C≈1,0%)

Выполнил: ст. гр. _____

Преподаватель: _____

Телефон кафедры (057) 707-37-92



Белые чугуны

Доэвтектоидный



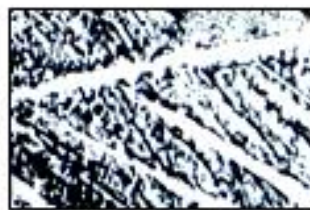
(C<4,3%)

Эвтектоидный



(C=4,3%)

Заэвтектоидный



(C>4,3%)

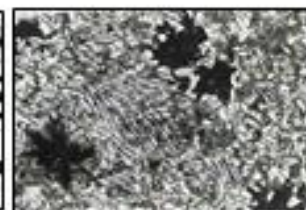
Графитизированные чугуны

Серый ферритный



СЧ10
 $\sigma_s = 100 \text{ МПа}$

Ковкий перлитный



КЧ700-2
 $\sigma_s = 700 \text{ МПа}$
 $\delta = 2\%$

Высокопрочный ферритно-перлитный



ВЧ500-7
 $\sigma_s = 500 \text{ МПа}$
 $\delta = 7\%$